

0716627-1

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

На правах рукописи  
УДК [002.5:551]:681.5

Бедрицкий Александр Иванович

**Метеорологические прогнозы как фактор снижения  
ущерба от явлений погоды**

Специальность 11.00.09 – *метеорология, климатология,  
агрометеорология*

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Казань 2000

Работа выполнена на кафедре метеорологии, климатологии и экологии  
атмосферы Казанского государственного университета

Научные руководители:

доктор географических наук, профессор Ю.П. Переведенцев  
доктор географических наук, профессор Л.А. Хандожко

Официальные оппоненты:

доктор географических наук, профессор Н.А. Калинин  
доктор физико-математических наук, профессор Г.М. Тептин

Ведущая организация

Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова, географический факультет

Защита состоится 22 июня 2000 года в 14 часов на заседании  
Специализированного совета К 053.2915 по присуждению ученой степени  
кандидата наук по специальности 11.00.09 – метеорология, климатология,  
агрометеорология в Казанском государственном университете по адресу:  
420018 г. Казань, ул. Кремлевская, 18, кор. 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке им. Н.И.  
Лобачевского Казанского государственного университета

Автореферат разослан 19 мая 2000 года

Ученый секретарь  
Специализированного совета,  
кандидат географических наук,  
доцент



Ю.Г. Хабутдинов

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КФУ



870065

**Актуальность исследований.** Влияние гидрометеорологических условий на устойчивое развитие экономики страны, особенно за последнее десятилетие, стало столь существенным, что может вызвать рост диспропорций в экономике и социальной сфере, нарушая нормальное, динамическое развитие общества. Воздействие только одного стихийного гидрометеорологического явления (СГЯ) на производственную инфраструктуру города или территории может отбросить их развитие на несколько лет назад. Это наблюдалось, например, после катастрофического наводнения в г. Кургане в 1994 г. или после полного затопления г. Ленска, Великого Устюга и др. Необходимость защиты от такого влияния и снижения социально-экономических потерь приводят к целесообразности учета влияния гидрометеорологических (погодных и климатических) условий (ВПУ) на государственном уровне.

Рыночные отношения приводят к необходимости более тесного взаимодействия с потребителями гидрометеорологической информации и более рационального использования прогностической продукции для минимизации ущерба.

Именно этими основными факторами обуславливается **актуальность работы.**

**Цель и задачи исследования.** Целью работы является:

1. Разработка комплексного алгоритма региональных оценок полезности метеорологических прогнозов, способа расчета предотвращенных потерь и уточнение функции потерь дискретного представления.
2. Исследование распределения полезности метеорологических прогнозов по Европейской территории России (ЕТР).
3. Исследование географических зон наибольшей чувствительности потребителей и их ранжирование к воздействию метеорологическому фактору.
4. Разработка алгоритма для адаптации существующих критериев выбора оптимальных решений и стратегий к хозяйственным задачам потребителей.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи.

1. Формирование базы данных о стихийных гидрометеорологических явлениях.
2. Выбор методологического подхода и программных средств для обработки исходных данных.
3. Обобщение и анализ метеорологических и экономических сведений, формализованных в матричном виде в подсистеме «прогноз – потребитель». Исследование экономических потерь в отдельных отраслях экономики от погодных факторов. Ранжирование потребителей по степени чувствительности к воздействию метеорологическому фактору.
4. Картирование распределения полезности метеорологических прогнозов по ЕТР.

5. Численное моделирование предотвращенных потерь с позиции байесовского подхода. Региональная оценка и картирование показателей эффективности и выгоды реализации успешных прогнозов наличия явления. Региональная оценка и картирование полезности метеорологических прогнозов на ЕТР.

6. Исследование и оценка комплексных показателей ВПУ на устойчивое развитие общества, показателей адаптации экономики страны и социальной сферы к изменениям погоды.

7. Ранжирование потребителей по степени чувствительности к воздействию метеорологическим факторам.

**Научная новизна** работы заключается в том, что:

- выявлены основные метеорологические условия, вызывающие потери, и их региональные особенности;

- впервые выявлены зоны наибольших ущербов от различных явлений погоды, позволяющие определить стратегию развития методов гидрометеорологического прогнозирования;

- разработаны комплексные показатели зависимости отраслей экономики от погодных условий и исследованы ущербы;

- обоснованы комплексные показатели оценки влияния погодных условий на устойчивое развитие общества.

**Практическая значимость** работы определяется направленностью на:

- оценку дифференциальных и интегральных потерь и ранжирование потребителей по степени чувствительности к воздействию фактору;

- повышение полезности использования метеорологических прогнозов и информации при их использовании различными отраслями экономики, выявление особенности распределения экономической полезности прогностической продукции по ЕТР;

- развитие и совершенствование информационной модели комплексного взаимодействия с потребителями гидрометеорологической информации, в первую очередь прогностической;

- использование разработанных методик и основных показателей ВПУ в учебном процессе подготовки специалистов по гидрометеорологии.

Полученные результаты позволяют **выдвинуть на защиту:**

- региональные оценки распределения по ЕТР предотвращенных потерь и выгоды реализации прогнозов;

- многофакторное обобщение зависимости отраслей экономики от метеорологических условий в системе «погода – прогноз – потребитель»;

- моделирование и анализ основных показателей ВПУ;

- методическую основу разработки показателя адаптации потребителей к погодным условиям, его интерпретацию и результаты анализа;

- оценку показателей ВПУ, отражающих воздействие на устойчивое развитие общества.



**Основные положения и результаты диссертационной работы** докладывались на рабочих совещаниях, проводимых совместно с представителями различных отраслей экономики; итоговых коллегиях Росгидромета (Москва, 1995 – 1999); Международной конференции по экономической эффективности метеорологического и гидрологического обслуживания (Женева, Швейцария, 1994); международных симпозиумах: по обмену опытом в области специализированного гидрометеорологического обеспечения отраслей экономики (Москва, 1995), по обмену опытом в области экономической эффективности от использования гидрометеорологической информации различными отраслями экономики (Москва, 1997), «Гидрометеорология: наука и практика, современность и перспективы» (Санкт-Петербург, 1997); Международной конференции «Экологическая безопасность на пороге XXI века» (Санкт-Петербург, 1997); Международных конференциях по управлению национальными метеорологическими (гидрометеорологическими) службами (Макао, 1997; Женева, 1999); Конференции «Байкал-99» по обмену опытом в области специализированного гидрометеорологического обеспечения отраслей экономики (Иркутск, 1999), на семинарах кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Казанского государственного университета.

Результаты выполненных исследований опубликованы в 10 основных работах в зарубежных и российских научных журналах и сборниках.

**Структура и объем.** Диссертация состоит из введения, четырех глав с выводами, заключения и приложения. Основной текст изложен на 142 стр. Диссертация содержит 26 рис., список литературы из 82 наименований и приложения на 10 стр.

## **Содержание работы**

**Введение** содержит обоснование актуальности темы диссертационной работы, изложение целей и задач исследования, показана научная новизна и практическая значимость работы. Формулируются положения, выносимые на защиту, и сведения об апробации работы.

### **Глава 1. Исходные условия решаемой проблемы**

Материальные ценности общества создаются в постоянном контакте с природной средой обитания, его созидательные функции осуществляются при одном фундаментальном условии – необходимости использовать ресурсы природной среды. Однако истощаемость одних природных ресурсов ведет к опасности утраты источника экономического развития, неумение использовать другие и, в частности, гидрометеорологические (погодные и климатические) ресурсы – к росту потерь в масштабах страны.

Природные ресурсы, сосредоточенные в гидрометеорологической среде, занимают особое место, еще недостаточно осознанное в хозяйственной практике. Главная их особенность состоит в том, что они практически неисчерпаемы. Проявления гидрометеорологической среды, отдельные ее состояния, выражающие благоприятные или неблагоприятные погодные условия, могут быть как исключительно полезны, так и опасны.

Содержание гидрометеорологических ресурсов раскрывает гидрометеорологическая информация, информационная продукция и данные, сосредоточивающие комплекс таких сведений, без которых невозможно рациональное функционирование многих отраслей экономики (энергетики, сельского хозяйства, транспорта, строительства и др.). Среди всего многообразия гидрометеорологической информационной продукции, подготавливаемой Росгидрометом, особое место занимает прогностическая информация. Основное назначение гидрометеорологических прогнозов – обеспечение экономических выгод и безопасности хозяйственной деятельности и населения страны. Осмысление полезности и государственной важности гидрометеорологических прогнозов предопределяет возможность решения проблемы в рамках государственной программы. Практически все отрасли экономики, зависящие от погоды, используют прогнозы погоды и, тем самым, извлекают экономической выгоды.

К таким объектам (потребителям гидрометеорологической информации) относятся промышленные и топливно-энергетические комплексы, строительство, транспорт, сельское, лесное и водное хозяйство, системы теплоснабжения городов, электроэнергетические сети, коммунальное хозяйство, технологические процессы и технические системы.

Таким образом, на огромном географическом пространстве страны со всем ее региональным многообразием сложилась относительно устойчивая система «экономика – население – природа». Сложность такого рода системы исключительно велика. Поэтому в рамках этой системы рассматривается иная система, отражающая сложный комплекс взаимосвязей погоднo-климатической составляющей природы и общества, с одной стороны, и экономическую значимость прогнозов, с другой. А именно: «погода – прогноз – потребитель» или «погода, климат – производство». Проводимое исследование выполняется в рамках преимущественно первой подсистемы.

Нарушение нормального функционирования объектов экономической части системы может быть вызвано, прежде всего, особо опасными проявлениями погоды. В качестве примера рассматривается ветер – погодное явление, оказывающее наиболее существенное влияние на социальную, экономическую и экологическую ситуацию. Даются примеры многофакторности проявлений ветра и его воздействия на различные сферы жизнедеятельности общества.

Далее приводится обоснование выбора области исследования – системы «погода – прогноз – потребитель». С использованием подходов и терми-

нологии системного анализа формулируется краткая характеристика основных свойств, принципов и функций системы «погода – прогноз – потребитель», которые сводятся к следующему:

- целостность системы как совокупность взаимосвязанных подсистем с присущими каждой из них специфическими внутренними закономерностями развития;

- открытость, дающая возможность использования в ней информации от неметеорологических источников, а также метеорологической информации более высоких уровней (например, данные Всемирной Метеорологической Организации);

- неоднородность решаемых задач;

- внутренняя детерминированность как свойство упорядоченности и взаимосвязи отдельных подсистем;

- частичная регулируемость, обусловленная невозможностью идеального выполнения функций отдельных подсистем вследствие неточности наблюдений, ненадежности прогнозов, недостаточной эффективности активных воздействий на гидрометеорологические прогнозы;

- объективность участия человека на всех этапах функционирования системы.

При этом система, генерирующая различного вида и назначения прогностическую информацию, должна обеспечить ее практическую реализацию в экономически оптимальном режиме. Такова основная целевая задача функционирования системы и необходимости ее решения.

В качестве важнейших принципов системного подхода, которые используются в рамках выполненного исследования, выбраны:

1. Проблема рассматривается в пределах единой системы, в которой устанавливаются последствия и взаимосвязи всех частных решений.

2. Принятие решений основывается на выявлении и формулировке конечных целей подсистем и системы в целом.

3. Функционирование всех подсистем ориентировано на решение целевой задачи.

Формулируется конечная цель функционирования системы, исследуются пути ее достижения.

Центральная процедура системного подхода – построение «всеохватывающей» модели (разработка генерализованной функции) в виде комплекса частных моделей, включающих основные факторы и взаимосвязи реальных ситуаций, определяющих поведение системы и принятие решений. В первом приближении модель исследуется на альтернативное решение и на чувствительность ее к нежелательным внешним воздействиям. Система в итоге подразделяется на три подсистемы: «погода», «прогноз», «потребитель». Далее рассматривается содержание отдельных подсистем, их соподчиненность и взаимосвязь.

В подсистеме «погода» можно перечислить довольно большой комплекс характеристик, определяющих в итоге качество выходной метеорологической информации – ее точность и пространственную репрезентативность:

- плотность наблюдений (число станций и постов, отнесенное на  $10^4 \text{ км}^2$ );
- средняя частота наблюдений по площади (число наблюдений в сутки) и, соответственно, частота передач;
- средняя частота наблюдений по площади опасных и особо опасных гидрометеорологических условий.

Подсистема «погода» функционирует в целях обеспечения смежной подсистемы «прогноз» и подсистемы «потребитель». Функционирование же подсистем «погода – прогноз» в комплексе осуществляется в виде наблюдений, оповещения и систематических передач информации в региональные прогностические центры.

В подсистеме «прогноз» после сбора наблюдаемой гидрометеорологической информации, на этапе анализа, частично – обработки и особенно – составления прогноза, появляется качественно новая функциональная черта. Требование потребителя на этом этапе реализуется посредством функции обнаружения. При этом под обнаружением понимается установление угрозы возникновения опасного явления погоды, опасного комплекса погодных условий, резкой смены погоды, опасности перехода от благоприятной погоды к неблагоприятной и т.д. или отсутствие таковой угрозы.

Прогноз опасных гидрометеорологических условий можно выразить как:  $P(\text{ОЯ}) = f(L, q)$ , где  $L$  – степень опасности погодных условий,  $q$  – условные вероятности осуществления фаз явления погоды при данном тексте прогноза.

В целом в рассматриваемой подсистеме выявляются две задачи, подлежащие решению: 1) повысить качество ее функционирования в пределах отдельных стадий, 2) в каждой стадии минимизировать затраты (расходы) при оптимальном количестве получаемой информации.

Подсистема «потребитель» – это все народнохозяйственные организации, производственная деятельность которых зависит от условий погоды, которые хотя бы принципиально могут корректировать свои действия в зависимости от метеорологических условий. Прежде всего, это сфера общественного производства. Сюда относятся: энергетика, сельское хозяйство, транспорт, строительство и др. Далее дается классификация потребителей в зависимости от производственного эффекта, полученного ими при использовании прогнозов. Анализируются требования обуславливающие более эффективное использование прогнозов потребителем. Обобщая анализ всей системы «погода – прогноз – потребитель», следует сказать, что только в результате взаимосвязанного и рационально организованного функционирования всех подсистем создаются условия оптимального использования прогнозов. Необходимое пространственно-временное разрешение исходной ин-

формации является предпосылкой прогнозирования более высокого качества. Построение модели для оценки экономической полезности использования гидрометеорологической информации в экономике основано на целостности рассматриваемой системы и включает элементы всех трех подсистем.

Предмет и сущность исследования заключаются в том, что все гидрометеорологические прогнозы представляют собой постоянно возобновляемую и объективно необходимую информационную продукцию общественного производства. Этот вид продукции следует рассматривать как исторически сложившийся результат запросов общества в целях обеспечения его рациональной деятельности. Правильное использование прогнозов является одной из важнейших задач, в которой экономическая полезность выступает как целевая проблема метеорологического обеспечения экономики и населения страны.

Сущность проблемы заключается в необходимости разработки практически ориентированных метеоролого-экономических оценок реализации прогнозов применительно к отдельным отраслям экономики. Одной из главных является задача региональной оценки экономической полезности гидрометеорологических прогнозов как основы разработки более эффективных технологий их реализации. Использование прогнозов, как представляется, должно включать в себя последовательное решение двух целевых задач: оптимизацию применения потребителем оперативных метеорологических прогнозов и оценку экономического эффекта и эффективности, получаемых в процессе реализации прогнозов в производственной практике. В качестве целевой функции, характеризующей уровень метеорологических издержек в хозяйственной деятельности потребителя, предлагается рассматривать средние в статистическом смысле потери, определяемые с позиции байесовского подхода.

Учитывая изложенное выше, формулировка обозначенной проблемы может быть представлена следующим образом: сбережение материальных ценностей общества на основании оптимального учета гидрометеорологических прогнозов в практике и оценки их экономической и социальной полезности.

Научная установка сводится к разработке комплексной многоцелевой модели оптимальной реализации прогнозов в практической деятельности. Существующие научные подходы можно комплексировать с позиции достижения минимальных потерь в различных отраслях производства. Ведущая роль здесь отводится байесовскому подходу. Центральное место в нем занимает разработка функций потерь.

## **Глава 2. Функция полезности как методическая основа исследования: формы представления, анализ, принципы реализации**

В рассматриваемой системе «погода-прогноз-потребитель» эффективное хозяйственное управление с метеорологических позиций достигается при адекватном знании последствий от тех или иных решений и при конк-

ретной погоде  $\Phi$ . Исходя из этого, строится так называемая функция полезности, которая записывается в виде:

$$u = u(\Phi_j, d_j),$$

где  $d_j$  ( $j = 1, \dots, m$ ) – решения потребителя или регламент поведения потребителя;  $\Phi_j$  – фактическая погода.

В этом выражении не раскрываются пути достижения полезности. В силу этого функцию полезности разбивают на три класса, в зависимости от результата реализации прогнозов:

$$u = \begin{cases} g(\Phi_j, d_j) - \text{функция доходов,} \\ s(\Phi_j, d_j) - \text{функция потерь,} \\ r(\Phi_j, d_j) - \text{функция расходов.} \end{cases}$$

Подавляющее большинство потребителей рассматривают погодные условия как неблагоприятный внешний фактор, вызывающий те или иные потери. В соответствии с этим в настоящей работе рассматривается преимущественно второй класс функций полезности, интерпретируя их как функции потерь  $s$  по метеорологическим причинам:  $s_j = s(\Phi_j, d_j)$ .

При этом рассматривается частная ситуация, когда влияющая метеорологическая величина представляется в альтернативном (двухфазовом) виде. В этом случае функция потерь записывается в виде матрицы  $\|S_{ij}\|$  размерности  $2 \times 2$ , которая в реальных условиях имеет вид:

$$S_{ij} = \begin{vmatrix} S_{11} + \varepsilon s_{12} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} C + \varepsilon L & L \\ C & 0 \end{vmatrix} \quad 0 \leq \varepsilon \leq 1,$$

где  $s_{12} = L = L_{\max}$  – максимально возможные потери,  $\varepsilon L = L_{\Pi}$  – непредотвращенные потери,  $C$  – стоимость мер защиты. Коэффициент  $\varepsilon$  есть показатель непредотвращенных потерь с областью изменения  $[0; 1]$ . В случае  $\varepsilon = 0$  потери, которые могли быть вызваны неблагоприятной погодой, предотвращены полностью (такого рода кардинальные защитные меры есть частный случай реальных условий). Противоположная картина отличается при  $\varepsilon = 1$ , которая означает, что потребитель вовсе не применяет мер защиты.

Далее систематизируются данные о потерях потребителей по метеорологическим условиям и затратах на организацию защитных мер. Убытки по метеорологическим причинам оцениваются как любые материальные потери или финансовые затраты, связанные с неблагоприятными условиями погоды или неумелым использованием благоприятной погоды. Такого рода убытки можно разделить на прямые (разрушения, повреждения, затопления, снижение урожая и т.п.), косвенные (например, потери на предприятиях в связи с отключением участка ЛЭП и отсюда потери на взаимозависимых предприятиях). Как показывают оценки, в экономике России ежегодные убытки по метеорологическим причинам достигают 5 млрд. рублей.

#### **Моделирование непредотвращенных (остаточных) потерь**

Непредотвращенные потери  $L_{\Pi}$  требуют самостоятельного анализа.

Однако из-за отсутствия соответствующего статистического материала, который был бы достаточным с точки зрения статистического объема, и невозможности реального экспериментирования целесообразно прибегнуть к информационному моделированию.

В рамках системы «погода-прогноз-потребитель» при постулировании определенных условий функционирования подсистем требуется обобщенное представление в виде формализованного конструирования зависимости  $L_H$  от определяющих факторов. В итоге функцию непредотвращенных потерь  $L_H$  можно записать в следующем виде:

$$L_H = A \times J \times \varepsilon \times L_{\max} \times t/(C\tau),$$

где  $A$  – коэффициент пропорциональности с учетом выбранной единицы измерения интенсивности  $J$ .

Применительно к воздействию ветра приводится смоделированный ряд комплексных сценариев результативности «противодействий» потребителя и погоды. Анализ данных, а также распределений  $L_H$  показывает:

1. При  $\varepsilon = 0,25 \div 0,50$ , что в хозяйственной практике явление частое, с ростом затрат  $C$  на предупредительные меры непредотвращенные потери  $L_H$  снижаются. При значениях  $C/L > 0,5 \div 0,6$  уровень непредотвращенных потерь «стабилизируется». Затраты  $C > 60$  (при  $L = 100$ ) оказываются уже малоэффективными, а в случае  $C = 100$  – бесхозяйственными.

2. Для одного и того же потребителя ( $C/L = \text{const}$ ) непредотвращенные потери снижаются по мере совершенствования мер защиты. Отрицательный прирост становится все меньше с увеличением  $C/L$ . Однако картина заметно меняется с ростом максимально возможных прямых потерь  $L_{\max}$ . Так, при  $C/L = 0,1$  снижение  $L_H$  достигает 150 стоимостных единиц.

3. Чем больше максимально возможные прямые потери  $L_{\max}$ , т.е. интенсивность явления, тем больше снижаются непредотвращенные потери  $L_H$  с уменьшением  $\varepsilon$ .

Таким образом, постоянно обращает на себя внимание необходимость снижения коэффициента непредотвращенных потерь  $\varepsilon$  или повышения эффективности мер защиты. Однако в хозяйственной практике при разработке регламента решений снижение  $\varepsilon$  при одном и том же значении  $C$  – задача крайне сложная.

#### **Локальная и региональная оценка предотвращенных потерь**

Рассматривается поведение потребителя при реализации прогнозов скорости ветра. Анализ матрицы потерь показывает, что снижению непредотвращенных потерь отвечает естественный рост предотвращенных потерь  $L_{\Pi}$ , что определяется формулой:  $L_{\Pi} = L_{\max} - L_H$ . Данное положение проиллюстрировано, но при этом также показано, что предотвращенные потери растут в обратной пропорциональности величине  $L_H$  при соответствующем росте затрат  $C$ . Кроме того, показано, что возможен положительный ( $L_{\Pi} - L_H > 0$ ) и отрицательный ( $L_{\Pi} - L_H < 0$ ) эффект защиты, нулевым же «эффектам» отвечают значения  $\varepsilon = 0,5$ .



Известно, что обобщение прогностической информации в виде матриц сопряженности позволяет дать наиболее полную характеристику ее полезности при известной матрице потерь. Для полного представления локальных оценок приведены матрицы сопряженности методических и инерционных прогнозов скорости ветра в Москве.

Анализ матрицы потерь в численном выражении позволяет выделить следующие наиболее важные показатели ВПУ, учет которых в экономических оценках крайне необходим.

1. Интегральный показатель затрат на защитные мероприятия единичного потребителя  $C^*$  за выбранный период.

2. Интегральный показатель максимально возможных потерь (ущерба за счет пропуска явлений):  $L_{\max}^* = L_{\max} n_{12}$ , где  $n_{12}$  – число ошибок пропусков опасных значений скорости ветра за выбранный период.

3. Интегральный показатель непредотвращенных потерь при использовании мер защиты определяется по формуле:  $L_H^* = \varepsilon L_{\max} n_{12}$ .

4. Интегральный показатель предотвращенных потерь при использовании мер защиты:  $L_{\Pi}^* = n_{11}(s_{12} - \varepsilon s_{12}) = n_{11}(L_{\max} - \varepsilon L_{\max}) = n_{11} L_{\max} (1 - \varepsilon)$ .

5. Интегральный показатель общих потерь (издержек) при ошибочных прогнозах устанавливается следующим образом:  $L_{\Sigma}^* = n_{12} s_{12} + n_{21} s_{21} = n_{12} L_{\max} + n_{21} C$ .

6. Интегральный показатель экономической выгоды использования методических прогнозов потребителем определяется как:  $W = n_{11}[(s_{12} - \varepsilon s_{12}) - (s_{11} + \varepsilon s_{12})] = n_{11}[L_{\max}(1 - 2\varepsilon) - s_{11}]$ .

Приведены результаты расчетов показателей ВПУ для одного из потребителей прогностической информации по Москве – строительных организаций. Для них отмечаются внушительные масштабы возможных потерь при отсутствии прогнозов скорости ветра или пренебрежении ими. Важнейшей характеристикой снижения воздействия неблагоприятных условий погоды является показатель предотвращенных потерь  $L_{\Pi}$ . Если изменить пороговое значение скорости ветра в сторону его увеличения, например, согласно требованиям потребителя осуществить замену  $V_{\text{шт}} \geq 12$  м/с на  $V_{\text{шт}} \geq (15 \div 18)$  м/с, то резко меняется и содержание матрицы сопряженности и матрицы потерь. Причем успешность инерционных прогнозов при таком выборе альтернативы оказывается очень низкой, а выигрыш методических прогнозов становится более очевидным.

Закономерность проявляется в том, что с ростом опасности любого состояния погоды более полно проявляется экономическое преимущество оперативных методических прогнозов. Локальная оценка ВПУ раскрывает метеоролого-экономическую характеристику функционирования потребителя в местных условиях. Результаты расчетов показывают преимущество методических прогнозов относительно инерционных. Кроме того, используя дан-



ные о результатах прогнозирования скорости ветра по ЕТР, устанавливается региональное распределение показателей ВПУ, из которого прослеживается высокая связь успешности прогнозирования скорости ветра и предотвращенных потерь по ЕТР. Поэтому можно считать, что определенная часть ЕТР находится в зоне повышенного метеорологического риска и подлежит тщательному синоптическому и мезометеорологическому исследованию.

Полученные результаты распределения  $\bar{L}_n$  (см. рис. 1) дают основание выделить территории недостаточного научно-методического обеспечения, повышенной угрозы метеорологического риска, относительно высокого уровня страховых издержек, вызванных более частыми пропусками опасных явлений погоды ( $n_{12}$ ). Очевидно, что каждое из этих положений может быть предметом самостоятельного исследования.

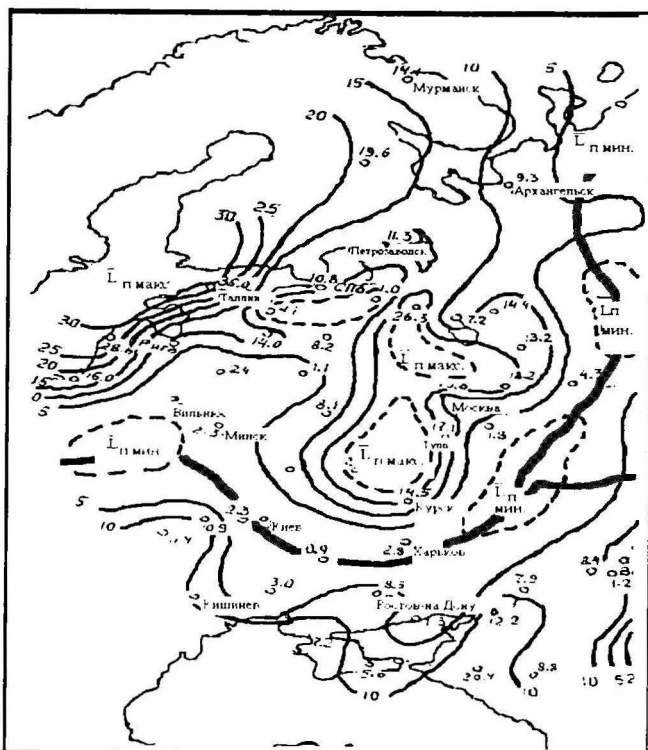


Рис. 1. Региональное распределение предотвращенных потерь  $\bar{L}_n$  (млн.руб./прогноз) за счет использования методических прогнозов скорости ветра

### Глава 3. Параметризация воздействия метеорологического фактора на потребителя и его адаптации к ожидаемым условиям погоды

Влияние погодной среды на экономику и социальную сферу общества рассматривается в современных условиях как одна из приоритетных проблем науки и практики. Нарастающее влияние погоды является убедительным тому подтверждением. Примером является территория России, которая за последние 10-15 лет подвержена опасным региональным погодным воздействиям с возрастающим ущербом. По неполным данным, ежегодно 100-150 (в среднем за год) опасных погодных условий наносят экономике страны ущерб в 3-4 млрд. руб.

Исторически сложилось так, что модели устойчивого развития общества конструировались на основе ряда экономических критериев, отражающих структурное содержание валового внутреннего продукта. Влияние постоянно действующего погодно-климатического фактора не находило должного отражения в крупномасштабном экономическом моделировании, включая прогнозирование сценариев развития общества. Неполный или недостаточный учет взаимодействия экономики и природной среды сопровождаются потерями природного капитала. Отсюда следует, что модель устойчивого развития страны должна строиться на основе сбалансированного решения задач экономического, социально-экономического и природного потенциалов в целях научного обоснования перспективного планирования и принятия решений, обеспечивающих устойчивое развитие общества. Следовательно, управление процессом устойчивого развития требует разработки природно-экономических показателей влияния на экономику природной среды, в особенности метеоролого-экономических показателей ВПУ, которые могут существенно уточнять описание макроэкономических процессов, осуществляемое на основании системы национальных счетов (СНС).

Используя матрицы потерь и сопряженности с известной характеристикой частот  $p_j$ , можно установить ряд важных показателей ВПУ.

Под комплексацией понимаются такие способы анализа виртуальных исходных показателей, которые позволяют дать эффективное их обобщение с позиции запроса практики – экономических интересов. Комплексация требует не только выбора эффективных показателей ВПУ, но и такое формальное представление, посредством которого возможен их учет в региональных и федеральных социально-экономических программах, направленных на реализацию стратегии устойчивого развития России.

Используя основные виртуальные исходные показатели ВПУ, такие как  $L$  – максимально возможные прямые потери потребителя при полном отсутствии с его стороны мер защиты;  $C$  – затраты потребителя на предупредительные меры;  $L_{\Pi}$  – непредотвращенные потери;  $L_{\Pi}$  – предотвращенные потери за

счет правильных прогнозов наличия явления, представляется возможным построить систему комплексных интегральных показателей ВПУ, отражающих влияние гидрометеорологических условий (как и отдельных состояний погоды) на потребителя (потребителей – экономику в целом) за выделенный период времени.

В систему комплексных показателей включаются:

1. Интегральные непредотвращенные потери:  $L_n = n_{11} \varepsilon L = n_{11} \varepsilon s_{12}$ .

2. Доля непредотвращенных потерь от максимально возможных:  $\alpha = L_n / L_{M(01)}$ , где  $L_{M(01)} = n_{10} L$ .

3. Интегральные предотвращенные потери:  $L_n = n_{11} (L - \varepsilon L) = n_{11} s_{12} (1 - \varepsilon)$ .

4. Недостаточность (малость) средств защиты относительно предотвращенных потерь, определяемая как отношение затрат на предупредительные меры к предотвращенным потерям:  $\beta(C) = C / L_n = C / [L(1 - \varepsilon)]$ .

Данному соотношению можно дать иное содержание:  $\beta_1 = 1 - C / [L(1 - \varepsilon)]$ , которое интерпретируется как успешность реализации средств, затраченных на защитные мероприятия.

5. Отношение непредотвращенных потерь ( $L_n$ ) к предотвращенным потерям ( $L_n$ ) – показатель недостаточности технологии защитных мер:  $\beta(L_n) = L_n / L_n = \varepsilon / (1 - \varepsilon)$ .

По мере роста  $\varepsilon$  становится все более очевидным технологическое несовершенство проводимых мер защиты. Поэтому данное соотношение можно несколько изменить, придав ему иное толкование, а именно – успешность технологии защитных мер:  $\beta_2 = 1 - [\varepsilon / (1 - \varepsilon)]$ .

6. Отношение общих издержек к предотвращенным потерям:  $\beta(C, L_n) = (C + L_n) / L_n = C / [L(1 - \varepsilon)] + \varepsilon / (1 - \varepsilon)$  или  $\beta = \beta_1 + \beta_2 = \{1 - C / [L(1 - \varepsilon)]\} + \{1 - \varepsilon / (1 - \varepsilon)\}$ .

7. Интегральная экономическая выгода использования правильных прогнозов наличия явления ( $n_{11}$ ):  $W = n_{11} [(L - L_n) - (L_3 + L_n)] = n_{11} [L(1 - 2\varepsilon) - L_3]$ , где  $C = L_3$ .

Экономическая выгода  $W$  определяется как результат работы гидрометеорологической службы и умслож реализации метеорологических прогнозов потребителем ( $L_3 = C$ ) и  $\varepsilon$ .

Приведенные выше показатели достаточно полно раскрывают оценку полезности той части прогностической информации, которая в матрице сопряженности определяется термином «прогнозировалось явление и наблюдалось ( $n_{11}$ )». Наряду с этим сказывается влияние погодных условий (что и предопределило название показателей – ВПУ), определяющих в конечном счете результативность использования прогнозов.

### Региональная оценка влияния погодных условий

Рассматриваются особенности регионального распределения ВПУ в строительстве по ряду пунктов, охватывающих ЕТР и сопредельные страны. При этом используются два вида информации: альтернативные прогнозы скорости ветра, обобщенные за ряд лет в виде матриц сопряженности  $\|N_{ij}\|$ , и «стандартная» матрица потерь  $\|S_{ij}\|$ , характерная для ЕТР. Матрица потерь определена на основе ранее известной для строительной организации Москвы за 1980-1981 гг., в холодный период – октябрь-март при ( $V_{\text{шт}} \geq 12$  м/с).

Интегральные и средние значения показателей ВПУ рассчитаны по 43 пунктам ЕТР.

Средние значения общих издержек потребителя в пределах ЕТР при осуществившемся условии погоды ( $V \geq 12$  м/с) составляют 5361,6 млн. руб. или 61,3% от максимально возможных. При этом затраты на предупредительные меры относительно невелики – около 10%, в то время как предотвращенные потери достигают 48,6% от экстремальных потерь. Почти пятикратное превышение  $L^*_{\text{п}}$  над  $C$  является важнейшей характеристикой успешности метеорологического обеспечения строительства на ЕТР прогнозами скорости ветра.

Интегральная величина предотвращенных потерь составляет около 183 млрд. руб. по всей ЕТР относительно 376 млрд. руб. возможных потерь. Это, главным образом, результат успешности прогнозов наличия явления ( $n_{\text{п}}$ ). Их условная вероятность при осуществившемся явлении  $V \geq 15$  м/с составляет 0,81, что в целом отвечает высокому качеству прогностической информации. Однако успех реализации правильных прогнозов наличия явления зависит от потребителя. Это следует из того факта, что в основе экономической полезности метеорологических прогнозов лежит уровень технологии применяемых мер защиты.

### Региональная оценка распределения прямых потерь по метеорологическим условиям

Непредотвращенные потери  $L^*_{\text{п}}$  – часть потерь, которые при правильных прогнозах наличия явления не удастся предотвратить в силу неэффективности защитных мер ( $\epsilon$ ). Они наряду с непредвиденными потерями являются дестабилизирующим фактором.

Рассматриваются некоторые особенности распределения непредотвращенных потерь  $L^*_{\text{п}}$  на ЕТР и территориях сопредельных стран. Характерная особенность распределения состоит в том, что выделяется зона пониженных значений непредотвращенных потерь  $L^*_{\text{п}}$ , которая вытянута от Украины на восточные районы центра ЕТР и далее на север. Это обус-

ловлено пониженной частотой правильных прогнозов наличия явления ( $n_{11}$ ), т.е. оправдавшихся прогнозов, в которых отмечалось  $V \geq 12$  м/с. Пониженные значения  $n_{11}$  отражают сложность прогнозирования скорости ветра в установленной зоне.

Как следует из анализа матрицы сопряженности альтернативных прогнозов скорости ветра уменьшение  $n_{11}$  в данном пункте сопровождается ростом  $n_{12}$  – пропусками опасного явления. Если обратиться к потерям, которые вызваны ошибками (пропусками явления) и которые названы как непредвиденные (или прямые потери)  $L^*_{\text{НВ}}$ , то результаты расчетов (см. рис. 2) показывают, что в зоне повышенной сложности прогнозирования (ПСП) обнаруживается максимум потерь за счет ошибок первого рода ( $n_{12}$ ) – пропусков явления ( $V \geq 12$  м/с). Всего на ЕТР отмечено 713 пропусков усиления ветра ( $V \geq 12$  м/с) по 43 пунктам, что составляет 19% от общего числа случаев опасной скорости ветра.

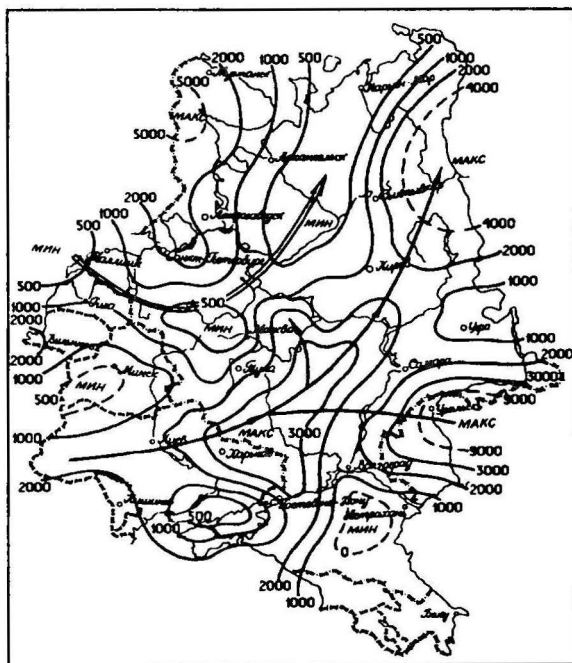


Рис. 2. Распределение по ЕТР прямых потерь  $L^*_{\text{НВ}}$  в строительных организациях, вызванных ошибками-пропусками явления ( $V \geq 12$  м/с), (млн. руб./сезон)

## **Оценка предотвращенных потерь на Европейской территории России**

В практической деятельности особое значение придается повышению предотвращенных потерь  $L^*_{\Pi}$  в процессе постоянного оперативного использования прогнозов. На основании матрицы потерь строительных организаций ЕТР представляется возможным установить распределение предотвращенных потерь по ЕТР в холодную часть года. В целях получения сравнимых результатов был установлен стандартный период использования прогнозов  $N^* = 364$  (октябрь-март), что исключало влияние пространственной статистической неоднородности  $\Pi_j$ .

По результатам расчетов видно, что на ЕТР прослеживаются области максимальных и минимальных значений  $L^*_{\Pi}$ . Зоне ПСП соответствуют минимальные значения  $L^*_{\Pi}$ , повторяющие распределение  $L^*_H$ . Наиболее эффективно используются прогнозы в центральной и северо-западной частях ЕТР (Тула – Москва – Санкт-Петербург). Предотвращенные потери здесь по отдельным пунктам достигают 6-9 млн. руб./сезон. Значительное предотвращение потерь за счет использования строительными организациями прогнозов скорости ветра отмечается в приморских зонах (Мурманск, Таллинн, Севастополь, Астрахань).

### **Оценка экономической выгоды использования прогнозов скорости ветра строительными организациями на ЕТР**

Результатирующим показателем экономической полезности прогнозов ( $\Pi_{\Pi}$ ) считается получаемая выгода  $W^*$ . В работе ее интерпретация дополнена оценкой регионального распределения. Отмечается значительное совпадение этого показателя с показателем  $L^*_{\Pi}$ .

### **Адаптация потребителя к ожидаемым погодным условиям**

Адаптация потребителя к ожидаемым условиям погоды есть сложный процесс хозяйственных мероприятий, обусловленный степенью защищенности объекта к «противостоянию» природной среде, интенсивностью неблагоприятных погодных условий (или уровнем чувствительности объекта к таковым) и качеством прогностической информации, которая используется в оперативной практике в режиме доверия. Построение модели адаптивности потребителя требует знания вероятностного описания влияющих на объект факторов и задания вероятностных характеристик используемых прогнозов.

С учетом матрицы сопряженности прогнозов введена интегральная величина показателя адаптации, численные значения которой аппроксимируют зависимость последствий потребителя от его технологической и информационной способности «подстраиваться» под ожидаемые неблагоприятные условия погоды. Оценка показателя адаптации осуществляется на основании данных, приведенных в матрице потерь строительных организаций, расположенных на ЕТР.

## Прогностическая продукция как информационный ресурс устойчивого развития экономики

Прогнозам отводится важная роль. Но в последние годы в России этому уделяется особое внимание. Разработана и осуществляется программа более эффективного использования прогностической информации в экономике. При этом полезность прогнозов, выраженная теми или иными показателями, рассматривается как мера их ценности, которая ориентирована на нужды и специфику потребителя и, следовательно, отражает способность прогнозов удовлетворять производственные запросы потребителей. В исследуемой системе оправдана более дифференцированная оценка полезности прогнозов, применительно к отдельным видам производственных работ. Это позволяет дать отраслевое обобщение их полезности, оценить значимость при разработке моделей социально-экономического развития общества.

Сконцентрированная в прогнозах информация материализуется в недрах производства в виде предотвращенных потерь ( $L_n$ ). Их обобщение по объектам отрасли или по всем отраслям в целом на территории экономического региона (субъекта РФ, страны) позволяет установить численное выражение доли сбереженных материальных ценностей (доли национального богатства)  $[\sum L_n(i)]$ , где  $i = 1, \dots, n$  относительно общего национального материального (или, что более важно, природного) капитала ( $K$ ). В качестве нормирующей характеристики  $K$  можно использовать валовой внутренний продукт (ВВП). Обозначив ВВП через  $G$ , значение доли сбереженного национального богатства можно определить из формулы:

$$p^*(L_n, G) = [\sum L_n(i)]/G \text{ (при } i = 1, \dots, n).$$

На основании показателя  $p^*(L_n)$  устанавливается роль в части прогнозирования метеорологических условий в достижении устойчивого функционирования производственной и социальной сфер.

Таким образом, под углом зрения метеорологического воздействия на экономику или общество под устойчивым понимается такое функционирование, при котором малые снижения  $L_n$  или незначительные повышения  $L_n$  не сказываются негативно на динамике развития.

Предотвращенные потери  $L_n$  суть реальный предотвращенный ущерб. Поэтому, если в качестве метеорологического фактора нарушения устойчивости развития производства рассматривать максимально возможные потери ( $L = L_{M(10)}$ ), то в качестве показателя воздействия метеорологических условий на устойчивость экономики можно использовать отношение:

$$p(L_n, L_m) = \frac{\sum_i^n (L_n)_i}{\sum_i^n (L_{M(10)})_i}.$$

Расчеты показали, что  $p(L_{\Pi}, L_M) = 0,486$ , что подтверждает значительное воздействие метеорологического фактора на экономику, а значит, и на устойчивость развития страны.

#### Глава 4. Полезность использования метеорологических прогнозов

Исследования, выполненные в последние годы показывают, что оценка полезности прогнозов предусматривает следующие необходимые условия: 1) дифференциацию прогнозов по отдельным видам производственных работ – их специализацию; 2) разработку аппроксимаций зависимостей последствий поведения потребителя от условий погоды (разработку функций полезности: доходов или потерь); 3) выполнение сезонных или иных работ по производственному признаку обобщений прогнозов явлений погоды и метеорологических величин в виде таблиц сопряженности, наиболее полно отражающих успешность прогнозирования; 4) разработку регионально-отраслевых схем оптимизации прогнозов и оценку их полезности.

Все это дает основание выделить два сценария оценки полезности краткосрочных метеорологических прогнозов. Первый – альтернативная оценка полезности, которую можно идентифицировать как требования потребителя к прогнозам. Второй – количественная оценка показателей полезности, экономического эффекта и экономической эффективности. Моделирование системы оценки полезности базируется на некоторых принципиальных положениях. Результирующее влияние погоды и действий потребителя требуют знания, с одной стороны, функций полезности – количественного описания реакции потребителя на неуправляемые метеорологические воздействия, с другой – вероятностного описания воздействующих метеорологических условий. На основании критерия оптимальности или целевой функции сравниваются между собой различные стратегии потребителя – различные долговременные ориентации его на ту или иную прогностическую информацию, и выбирается та, которая обеспечивает максимум пользы. При разработке моделей неблагоприятные погодные условия выступают в виде эпизодических помех хозяйственной деятельности и обуславливают выбор критерия оптимальности – средних потерь ( $R$ ). В случае многофазовых прогнозов матрица условных потерь позволяет определить средние потери при оптимальных  $d_k = d$ , т.е.

$$\bar{R}_{M(0)} = \sum_{j=1}^m P_{oj} \bar{R}_{ij}^{mn}(\Pi_o).$$

Обязательным условием обоснованной оценки полезности прогнозов является знание потерь  $\in L$ . Действительно, матрица потерь, содержащая  $\in L$ , дает основание установить экономическую выгоду  $W$  реализации правильных прогнозов наличия явления.



В качестве показателей полезности прогнозов рекомендованы:

*Экономический эффект* ( $\mathcal{E}$ ) – фактически сэкономленные материальные средства ( $\Delta \bar{R}$ ) за вычетом необходимых затрат ( $3_{\text{пп}}$ ) на получение прогностической информации

$$\mathcal{E} = \beta N [\Delta \bar{R} - 3_{\text{пп}}].$$

*Экономическая эффективность* ( $P$ ) – отношение экономического эффекта к затратам

$$P = \frac{\mathcal{E}}{N 3_{\text{пп}}} = \beta \left[ \frac{\bar{R}_{\text{ст}} - \bar{R}_{\text{м}}}{3_{\text{пп}}} - 1 \right].$$

Специфика потребителя требует избирательного отношения к прогностической информации. Естественно, при этом не представляется возможным охватить все области производства, всю экономическую сферу. Поэтому обобщенная модель критериальной оценки рассматривается применительно к такому потребителю, как морской флот.

Проведен расчет экономического эффекта и экономической эффективности прогнозов скорости ветра по региону «Мурманск-Архангельск» по данным за 8-летний период (табл. 1).

Анализ результатов оценки подтверждает высокую эффективность прогнозов скорости ветра для морского флота в западных акваториях полярной области страны. На один рубль затрат на прогнозы потребитель получает на порядок больше (от 10 до 95 рублей).

Таблица 1

$\varepsilon$	Элементы оценки, тыс. руб.				
	$\bar{R}_{\text{ин}}$	$\bar{R}_{\text{м}}$	$\Delta \bar{R}$	$\mathcal{E}$	$P$
0	22,6	-72,8	95,4	11497,6	95,1
0,25	59,3	-7,6	66,9	2051,9	66,6
0,50	96,0	57,5	38,5	4618,4	38,2
0,75	132,7	122,6	10,1	1184,8	9,8
1,0	169,4	254,0	-84,6	-10264,4	-84,9

В заключении обобщены основные результаты исследований:

1. Проведено исследование потерь по метеорологическим причинам в отдельных отраслях экономики. На основе разработанного метода их оптимального обобщения и анализа проведена формализация и оценка остаточных потерь потребителя с позиции байесовского подхода, их исследование на основе численного моделирования в рамках исследуемой подсистемы «прогноз-потребитель».

2. Разработан способ расчета остаточных потерь и уточнения функции потерь дискретного представления. В результате предложен комплексный алгоритм региональных оценок, проведена региональная оценка и выявлены особенности распределения показателей полезности метеорологических прогнозов по ЕТР.

Картирование показателей позволяет также сделать следующие выводы:

- установленные значительные региональные различия в распределении ВПУ демонстрируют необходимость дифференцированного, взвешенного и предупредительного учета гидрометеорологической информации по экономическим районам ЕТР;

- обнаруженная на ЕТР зона ПСП отражает не только природообусловленные трудности прогнозирования, в частности, скорости ветра, но и является в то же время зоной повышенного метеорологического риска, что требует самостоятельного исследования в целях уточнения методов прогноза скорости ветра и других состояний и явлений погоды.

3. Обосновано и проведено исследование комплексных показателей оценки ВПУ на устойчивое развитие общества и адаптации экономики к изменениям погоды.

4. Разработан алгоритм для адаптации существующих критериев выбора оптимальных решений и стратегий к хозяйственным задачам потребителей.

Выполненные исследования позволяют по-новому оценить влияние погодных условий на устойчивое развитие экономики и дать географическую интерпретацию этого влияния.

Полученные результаты способствуют своевременному принятию мер защиты от неблагоприятных погодных условий, что значительно уменьшает ущерб.

Предложенные теоретические положения и практическая реализация позволяют развить основные аспекты экономической гидрометеорологии.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы:

1. Economic benefits evaluation of hydrometeorological services in the Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (ROSHYDROMET) taking into account changes in country's economy. Conference on the Economic Benefits of Meteorological and Hydrological Services, Geneva, Switzerland, 1994, WMO/TD – № 630, p. 121-125.

2. Экономическая эффективность гидрометеорологического обеспечения потребителей Федеральной Службой России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с учетом экономических преобразований в стране. – Сборник «Новые тенденции в гидрометеорологии», вып. 1, Москва, 1995, с. 5-16.

3. The commercial activities of Roshydromet and related policy and legislation to the field of meteorology. – Proceedings of the second technical

conference on management of meteorological/hydrometeorological services in Regional Association II (Asia), 1997, p. 159-163.

4. О влиянии погоды и климата на устойчивость и развитие экономики. Метеорология и гидрология, 1997, № 10, с. 5-11.

5. Вклад гидрометеорологического обеспечения в решение задач по снижению ущерба от стихийных гидрометеорологических явлений. – Бюллетень ВМО, том 47, №3, июль 1998, с. 327-329 (в соавторстве).

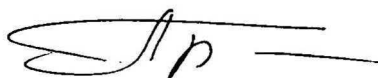
6. Проблема использования метеорологических прогнозов (экономический аспект). – Сборник научных трудов «На рубеже веков: экономические проблемы реформирования России». – М.: Экономика, 1998, с. 129- 148 (в соавторстве).

7. Показатели влияния погодных условий на экономику: региональное распределение экономических потерь и экономической выгоды при использовании гидрометеорологической информации и продукции. – «Метеорология и гидрология», 1999, № 3, с. 5-17 (в соавторстве).

8. The impact of weather and climate on economic development and sustainability. – Bulletin of WMO, Volume 48, No 2, April 1999, Geneva, p. 215-222.

9. Показатели влияния погодных условий на экономику: адаптивность потребителей. – Метеорология и гидрология, 1999, № 9, с. 17- 25 (в соавторстве).

10. Показатели влияния погодных условий на экономику: чувствительность потребителя к воздействию гидрометеорологическому фактору. – Метеорология и гидрология, 2000, № 2, с. 5-9 (в соавторстве).



Издательство ВНИИГМИ-МЦД  
Лицензия ЛР № 040780

Подписано к печати 17.05.2000. Формат 60х84/16.  
Печать офсетная. Печ. л. 1,3. Тираж 100 экз. Заказ № 70.

Отпечатано во ВНИИГМИ-МЦД, г. Обнинск, ул. Королева, 6.  
Лицензия ПЛД №48-8.

